

A támogatott program fő célja az volt, hogy új elven alapuló, megbízható, érzékeny, roncsolásmentes anyagvizsgáló metodikát dolgozzunk ki a fémből készült (részben ferromágneses) szerkezeti anyagokban bekövetkező változások kimutatására. A pályázat keretében elvégzett munka során több elméleti és gyakorlati problémát oldottunk meg. A gyakorlati problémák az örvényáramú, illetve a mágneses hiszterézis alhurkokat mérő eszközök kivitelezése, fejlesztése és az ezek segítségével elvégzett mérések köré csoportosultak. Elméleti téren kutatási tevékenységünk az elektromágneses elvű roncsolásmentes anyagvizsgáló módszerek elméleti kérdéseire, és azok numerikus módszerekkel történő modellezéséhez kapcsolódott. Tekintettel a szenzorikai célra alkalmazott lágymágneses anyagok kiemelkedő szerepére, figyelmet fordítottunk a mágneses hiszterézis jelenségek modellezésére is.

A munkánk során elért eredményeket folyamatosan publikációk formájában foglaltuk össze és tettük közzé. Ezért a jelen beszámolóban csak az eredmények tömör, lényegretörő összefoglalására törekedtünk, és hivatkozunk a publikációs listában szereplő megfelelő munkára.

Alapvető mágneses jelenségek vizsgálata

Az általunk korábban kidolgozott, és a jelen pályázat keretében továbbfejlesztett elektromágneses elven alapuló roncsolásmentes anyagvizsgáló módszerek a Fluxset mágneses termérő szenzoron alapulnak, amely eszközt mi fejlesztettük ki korábban. A Fluxset szenzor „lelke” egy különlegesen jó lágymágneses anyagból készült szalag. Ennek az anyagnak a mágneses viselkedése nagymértékben meghatározza az eszköz működési paramétereit (érzékenység, jel/zaj viszony, termikus stabilitás, stb.). Az eszköz működési paramétereinek javítása az egyik fontos feladat, amely viszont – részben – a maganyagul szolgáló amorf, nanokristályos vagy Finemet típusú ferromágneses anyag lágymágneses tulajdonságainak optimalizálásával valósítható meg. Ebből a célból vizsgáltuk a mágneses anyagok koercitív tulajdonságainak (amely a lágymágneses viselkedés és a hiszterézis veszteségek egyik kulcsparamétere) és anizotrópiájának viselkedését [15,23,24,25,32,35]. Megállapítottuk, hogy mindkét paraméter csak gyengén függ a hőmérséklettől. Egy elméleti modell keretében összefüggést találtunk e két fontos mágneses jellemző között, és arra a következtetésre jutottunk, hogy a koercivitás hőmérséklettől való függését elsősorban az anizotrópia tér hőmérséklet függése határozza meg, és az anyagszerkezeti hibák hatása csak másodlagos. Ez a viselkedés egyébként nem csupán az amorf anyagokra, hanem bizonyos más, hasonló mágneses tulajdonságokkal rendelkező anyagokra is vonatkozik.

Finemet típusú szalagokon vizsgáltuk a mesterségesen keltett hibahelyeknek az anyag doménszerkezetére, és ezen keresztül a koercitív tulajdonságaira gyakorolt hatását [4,21]. A kapott eredmények alapján értékes következtetések vonhatók le a doménfalak mozgási dinamikájára, amelynek jelentős hatása van az eszköz nagyfrekvenciás viselkedésére.

Hiszterézis jelenségek modellezése

A mágneses hiszterézis jelenségek modellezése nagyon fontos, mind az alapvető ismeretek bővítése, mind pedig az anyagok viselkedésének jobb megértése, és ezen keresztül a szükséges tulajdonságú anyagok kiválasztása szempontjából. A dinamikus hiszterézishurkok leírására a hagyományos sztatikus Preisach modellhez illesztve kidolgozott frekvenciafüggő modell és a sztatikus kísérleti adatokat a hagyományos Preisach modellenél pontosabban leíró Bilineáris Szorzat Preisach modell feltételrendszerének az együttes alkalmazásával modelleztük a frekvenciafüggő mágnesezési görbéket [28,38,39,43,50]. Kimutattuk, hogy a mágneses hiszterézis bilineáris szorzat modellje elvileg alkalmas lehet a spontán mágnesezettség hőmérsékletfüggésének valamint a gerjesztő külső mágneses tértől való függésének az egységes

matematikai szerkezetű egybefoglalására. A paramágneses állapotot leíró Brillouin függvény logikus, természetes és esztétikus gondolatmenettel épül a szorzatmodellbe, a Brillouin függvény argumentumában adódnak össze a reverzibilis paraprocesszus és az irreverzibilis hiszterétikus folyamat járuléakai. Ennek kísérleti alapját a reverzibilis szuszceptibilitás mágnesezettségtől való függésének mérési adatai szolgáltatják.

Az Ising típusú dipól-dipól modell mintáját követve egy általánosabb számítógépi mágneses nanorécsecke modell viselkedésének, mágnesezési folyamatának vizsgálatát indítottuk el. Egyszerű köbös kristályrácsba rendezett mágneses momentumok között a kicserélődési kölcsönhatással együtt hat egy anizotróp kicserélődés vagy más néven pszeudodipól kölcsönhatás. Ez annyiban különbözik a hagyományos dipól-dipól kölcsönhatás kifejezésétől, hogy meg van szorozva a részecskék közötti távolság harmadik hatványával, vagyis végtelen hatótávolságú lenne, ha nem tennénk arányossá a rövid-távú kicserélődési állandókkal. A kölcsönhatás ilyen egyszerűsítése ellenében a modell annyiban bonyolultabb a korábbi Ising típusú modellünktől, hogy a köbös rács legfőbb kristálytani irányai mind lehetséges könnyű egyensúlyi anizotrópiatengelyek.

Fluxset szenzor fejlesztése

A Fluxset szenzor működési paramétereit tovább fejlesztettük. (Érzékenység növelése, működési frekvencia tartomány szélesítése, jel/zaj viszony javítása). Ez azért fontos, mert a fentiekben is említett mérési módszerek ezen szenzor alkalmazásán nyugszanak. Szisztematikusan vizsgáltuk a maganyagként alkalmazott fémüveg szalag geometriájának hatását az eszköz érzékenységére és a jel/zaj viszonyra. Megállapítottuk, hogy a maganyag hossza az a paraméter, amelyik leginkább befolyásolja az eszköz érzékenységét. A kapott eredményeket figyelembe vettük a további eszközfejlesztésnél [13].

Egy másik eredményünk, ami szintén a szenzor érzékelő magjaként szolgáló ferromágneses szalag geometriájával kapcsolatos, hogy számítások segítségével optimalizáltuk a szalag alakját [36]. A szalag alakjának szintén komoly szerepe van az eszköz működésére, ugyanis minél jobban (homogénabban) telíthető mágnesesen, annál kisebb tér szükséges a telítéshez, és ez közvetlenül befolyásolja az elérhető érzékenységet. A nem vezető közegben elhelyezkedő ferromágneses vasmagot modelleztük térfogati és felületi mágneses áramok figyelembe vételével, és ezeknek a mágneses áramoknak az eloszlását határoztuk meg integrál egyenletek segítségével. Az optimalizálás eredményeképpen az adódott, hogy ellipszis alakú vasmag az ideális a mágneses telítés szempontjából, és adott méretek esetén meghatározhatók az ellipszis paraméterei. Ez az eredmény a fejlesztés jelenlegi állása szerint nem hasznosítható közvetlenül, mert igen körülményes lenne a jelenleg alkalmazott, gyorsítással előállított szalagból ellipszis alakút kialakítani. Azonban a hosszabb távú terveink megvalósítását nagymértékben segítheti ez az eredmény, mert a jövőben szándékunkban áll integrálható szenzor vasmagot kifejleszteni, porlasztott vagy párologtatott permalloy vékonyrétegből, amelyek tetszés szerinti alakúak lehetnek.

Kísérleteket végeztünk új típusú, Fe-Ni-Zr-B összetételű amorf és nanokristályos szalagok szenzoranyagként való alkalmazásával [61]. Kimutattuk, hogy ezen anyagok felhasználása esetén az eszköz érzékenysége mintegy 60%-al százalékkal javítható, ugyanakkor a működési hőmérséklet tartomány is kiterjeszthető a magasabb hőmérsékletek felé.

Örvényáramú szenzor kalibrációja számított és mért jel alapján.

Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmazásakor szükségessé válhat kvantitatív mérések lefolytatása is. Ilyen mérések során a mért mágneses tér abszolút értelemben

vett nagyságát kell megállapítanunk. A feladatot jelentősen nehezíti az a tény, hogy az általunk mérni kívánt mágneses térerősség térbeli eloszlása nem homogén. Ismereteink szerint a manapság használatos mágneses szenzorok által mért értékek csak akkor megbízhatóak, ha a szenzor méreteivel összevetve a mágneses tér homogénnek tekinthető. Mivel ez a feltétel az általunk tervezett kísérletekben rendszerint nem teljesül, szükségessé vált egy újfajta módszer kidolgozása a használandó Fluxset szenzor inhomogén térben történő kalibrációjára. A kidolgozott eljárás egy örvényáramú vizsgálati elrendezés numerikus modellezéssel kapott eredményeinek és az adott elrendezés kísérleti mérési eredményeinek összevetésén alapul [7,8,26,46]. A módszer egyedülálló abból a szempontból, hogy az irodalomban először szerepel egy mágneses szenzor nem homogén térben történő kalibrációja.

Egyenáramú vizsgálati módszer alkalmazási lehetőségének numerikus szimulációja.

Jelentős vastagságú (5-10 cm) vezető anyagok belsejében keletkezett repedések kimutatása örvényáramú mérésekkel nehézségekbe ütközik. Ilyen esetben, egyenáramú mágneses szenzorok alkalmazásával kiváló eredmény érhető el, amennyiben a vezetón átfolyó áram mágneses terének az anyaghiba által okozott perturbációját lehetséges kimutatni. Az eljárás realizálhatóságának vizsgálatára számítógépes szimulációt készítettünk. Különböző vezető anyagok nagy nyomáson és magas hőmérsékleten történő egyesítésével készült 80 mm vastag szerkezeti anyagot vizsgáltunk. Technológiai hibákra vagy más okra visszavethetően az egyes rétegek között vékony, nem- vagy rosszul vezető részek keletkezhetnek, amelyek detektálása a feladat. Az elvégzett numerikus szimuláció igazolta az eljárás alkalmazhatóságát. Kimutattuk, hogy az anyag belsejében, eltérő pozíciókban felvett 1 cm^2 méretű hiba hatására, a mágneses indukció felületen mérhető összetevőiben $0,1\text{-}10\text{ }\mu\text{T}$ perturbáció jön létre, amely a jelenlegi mágneses szenzorok érzékenységénél két nagyságrenddel nagyobb. A perturbáció relatív értéke az eredő mágneses térhez viszonyítva, $0,1\text{-}1\%$ között van. Így megfelelő jel/zaj viszony esetében biztonságosan detektálhatók a veszélyes méretű repedések az anyag felületét letapogató szenzorok alkalmazásával [5]. Fluxset szenzoron alapuló mérőfejek igen alkalmasak lehetnek ilyen feladatok megoldására, mivel a gerjesztéstől térben elválasztott mágneses detektor érzékenysége nem függ a gerjesztés frekvenciájától, így mód nyílik nagyon alacsony frekvenciájú gerjesztések sikeres alkalmazására is, ami a szkin-hatás miatt feltétlenül szükséges az említett feladat megoldásához. Néhány újszerű gerjesztő tekercs és szenzor elrendezés numerikus vizsgálat is elvégeztük.

Számítógépi programok fejlesztése mágneses erőterek numerikus szimulációjához.

1. Számítási eljárást dolgoztunk ki az örvényáramú vizsgálat során, rétegzett struktúrák rétegei között található lerakódás vagy korrózió által keltett mágneses tér perturbációjának meghatározására. Az eljárás vékony, állandó vastagságú anyaghiba modellezésére alkalmas. A számítási eredmények integrálegyenletek megoldásaként adódnak. Az eredetileg állandósult állapotot feltételező eljárást [6] alkalmaztuk a lerakódás paramétereinek meghatározására [47], és kiterjesztettük általános időfüggésű gerjesztéseket is kezelni tudó módszerré [17].

A sík lemezek felületén elhelyezkedő ferromágneses és vezető lerakódások modellezésére tervezett, harmonikus és időfüggő gerjesztések esetére kidolgozott vékony-réteg modellt továbbfejlesztettük azzal a céllal, hogy a lerakódáshoz közel található repedéseket is figyelembe tudjuk venni. A probléma gyakorlati jelentőséggel is bír, mert ipari alkalmazásokban a lerakódás környezetében lévő repedések nagyon nehezen felderíthetők, mivel a lerakódás által generált jel elfedi a repedés jelét. A megfelelő gyors numerikus számítás azért fontos, mert ennek segítségével mód nyílna optimalizációs eljárásokon alapuló hiba felderítésre. Különösen nehéz

feladat azon repedések felderítése, amelyek olyan mintadarabban találhatóak, ahol a felületen vezető anyagból kialakult lerakódás van (ilyen típusú repedés gyakran fordul elő például atomreaktorok hőcserélőiben). Három közelítő eljárást dolgoztunk ki, amelyek segítségével ki lehet számítani az említett típusú anyaghiba által gerjesztett örvényáramú vizsgálófejjel mért jelet. A kidolgozott eljárások a probléma gyors analizisét teszik lehetővé. Mérési eredményekkel való összevetés alapján bizonyítottuk, hogy a közelítésekből adódó hiba messze a mérési hibahatár alatt marad, így az eljárások a gyakorlatban jól alkalmazhatók [44].

Az anyagvizsgálati módszerek szimulációjával kapcsolatos fejlesztéseken belül fontos és új témakör az úgynevezett hibrid módszerek kifejlesztése és gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálata. A hibrid módszerek lényege, hogy a gerjesztő teret és az anyagi degradáció által létrehozott perturbációt különböző numerikus módszerrel számítjuk ki. A probléma ezen szétválasztása lehetővé teszi, hogy az egyes számítási lépéseket a leghatékonyabb numerikus módszerrel oldjuk meg és az egyes lépésekben különböző közelítéseket vezessünk be. A módszer nagy előnye az, hogy gyors és aránylag nagy pontosságú számításokra nyílik lehetőség még akkor is, ha a szimulálandó elrendezés geometriája bonyolult. A leírt módszert egy összetett (két tekercses ferromágneses vas-maggal ellátott) örvényáramú vizsgálófej jelének számítására használtuk. A vizsgálandó mintában nagyon kicsiny méretű repedéseket feltételeztünk. A szimuláció eredményeit összevetettük mérésekkel és megállapítottuk, hogy az alkalmazott számítási eljárás eredményei pontosan követik a kísérleti eredményeket [49].

Az anyaghiba által létrehozott mágneses tér perturbációjának szimulálásához kapcsolódó kutatás egyik lényeges eredménye az infintezimálisan vékony repedésekre vonatkozó, integrálegyenlettel megfogalmazott modell újszerű numerikus megoldása. Itt a téglalap alakú repedéseket reprezentáló ismeretlen áramdipólus réteget olyan függvény-sor formájában keressük, amelyben a sorfejtés tagjai az egész repedés felületén azonosan nem nullaértékűek (globális közelítés). A módszer segítségével az irodalomban ismert megoldásoknál gyorsabb és numerikusan stabilabb eredményeket kaptunk [64]. A felsorolt jó tulajdonságokon túl a kidolgozott eljárás használatával lehetőség nyílt a kapott eredmények numerikus hibájának becslésére [53]. A hibabecslés különösen fontos, ha az integrálegyenlet automatikus diszkrétizációja a célunk. Megállapíthatjuk, hogy a kidolgozott globális közelítésen alapuló eljárás - a kis számítási igény, a jó numerikus stabilitás és az automatikus diszkrétizáció lehetősége miatt - széles körben alkalmazható.

2. Mágneses erőterek numerikus analizisére hatékony alkalmazható a végeselem módszer. Ezen a területen egyik fejlesztési eredményünk az adaptív anizotróp végeselem-hálók létrehozására, illetve alkalmazására terjedt ki. Sikeresen kimutatni, hogy ezek a hálók bizonyos esetekben változatlan pontosság mellett gazdaságosabb, gyorsabb számítást tesznek lehetővé, mint azok, amelyek csak szabályos, vagy közel szabályos alakú végeselemeket tartalmaznak. A tranziens jelenségek végeselemes számítására a szokásos időlépéses séma helyett egy újszerű eljárást vezetettünk be, amelynek alapja a tér-időbeli adaptív anizotróp végeselem-háló. Ennek használatával a jelenség a tér-idő négydimenziós modellterben egységesen kezelhető, ugyanakkor a torzítható elemek lehetővé teszik az eltérő tér- illetve időbeli viselkedéshez való együttes adaptációt [3,9,18]. A számításokban impulzussal gerjesztett tranziens örvényáramú jelenséget vizsgáltunk. Az új módszer eredményeit összehasonlítottuk hagyományos - időlépéses, illetve frekvencia-tartományban végzett - számítások eredményeivel. Az eredmények kitűnő egyezése mellett, az összehasonlításban szereplő módszereknél a számítási (CPU) idők tekintetében jelentős eltérést tapasztaltunk [40]. A számítási eredményeket összehasonlítottuk az elvégzett mérések eredményeivel, és jó egyezést találtunk [10,17].

3. A végeelem módszer hatékonysága jelentősen növelhető a számítás feladat résztartományokra bontásával (domain decomposition) [16]. A módszert továbbfejlesztettük örvényáramú térszámítási feladatokra is. Az egyik irány az ún. *cella módszert* (más néven *Finite Integration Technique*, FIT) alkalmazta a lemezelt vastestben létrejövő állandósult örvényáram eloszlás lemezenkénti rekonstruálására, illetve az örvényáram-veszteség kiszámítására. Egy másik megközelítésben, az egyes lemezekben a lokális örvényáramú teret áram-vektor potenciállal vektoriális véges-elemek (*edge elements*) alkalmazásával írtuk le. Peremfeltételként a globális szimuláció során meghatározott lemezirányú mágneses térkomponenseket vettük fel. A számításokat lineáris, nagy permeabilitású anyagra végeztük el [29]. A módszert továbbfejlesztettük nemlineáris, ferromágneses anyagokra is. A megoldás lényege a következő, két lépésből álló számítási eljárás. Az első lépésben a vastest lemezelését globálisan modellezzük, nemlineáris mágneses tulajdonságú, lineáris anizotróp elektromos vezetőképességű közeget feltételezve. Ez a számítás az elrendezés mágneses terét - a homogenizáció elmélete alapján - jó közelítéssel megadja. Ugyanis, a vastest lemezeiben lokálisan kialakuló örvényáramok hatása elsődlegesen a veszteségek növekedésében jelentkezik, az eredő mágneses térben viszont elhanyagolható. A számítás második lépésében az egyes lemezek örvényáram-eloszlását határozzuk meg. Ennek során a nemlineáris ferromágneses anyagot térben változó, inhomogén, lineáris tulajdonságú (térreszenként állandó permeabilitású) közeggel helyettesítjük. Így a korábban kidolgozott, állandó permeabilitású közegre alkalmazható veszteségszámítási módszerek felhasználhatók a számítás ezen részében. Az ún. aktuális permeabilitást az első számítási lépésben meghatározott mágneses tér amplitúdójának lokális értéke és az anyag mágneses karakterisztikája alapján határozzuk meg [41,42].

A résztartományokra bontáson (*Domain Decomposition*) alapuló erőter-számítási módszerek - a kedvező futási idő következtében - kiválóan alkalmazhatóak optimalizálási problémák megoldására. A "Design of Experiment" módszerrel együttesen térerősség vezérlő gyűrűk optimális pozicionálására alkalmaztuk az eljárást [27].

Rekonstrukciós eljárások kidolgozása

Vezető anyagban keletkezett repedések rekonstrukciójához optimalizált mérési adatbázist készítettünk oly módon, hogy a crack-modell paraméterei által kifeszített n-dimenziós tértartományban adaptív szimplex-hálót generáltunk. Az adatbázis nem csak az inverz-feladat megoldását segíti elő a gyors kereshetőség által, de információt szolgáltat például az alkalmazott mérőrendszer lehetőségeiről és korlátairól, valamint a repedést jellemző paraméterek megválasztásának helyességéről is. Először a legfeljebb négy paraméterrel jellemezhető crack-modellre vonatkozó eredményeinket publikáltuk [45].

Célul tűztük ki, hogy becslést adjunk a rekonstrukció eredményeinek pontosságára, megbízhatóságára [52,54]. Az általunk használt rekonstrukciós adatbázis különlegessége, hogy adaptív technikával készül, és így a struktúrája tükrözi az inverz feladat bizonyos tulajdonságait. Így következtetni tudtunk többek között a mérőrendszer elvi felbontóképességére, illetve a rekonstrukciónál alkalmazott anyaghiba-modell minőségére. Például olyan jellegű anyaghiba esetében, amelyet az adatbázis elvileg nem fed le - tehát amelyet a rekonstrukció során feltételezett anyaghiba-moddellel nem lehet kielégítően leírni (pl. többszörös repedés) - a kifejlesztett módszer segítségével ki lehet mutatni az inverz feladat gyengén meghatározott voltát. Fontos, hogy még az utóbbi esetben is meghatározható az ismeretlen anyaghiba néhány paramétere.

A vizsgálatok másik fontos tárgya maga a rekonstrukcióhoz használt modell volt. Tapasztalatunk szerint az optimalizált háló-adatbázis szerkezete jól tükrözi az egyes modell-paraméterek szerepét, jelentőségét, és a köztük lévő esetleges összefüggéseket. Ebben elengedhetetlen szerepe van a szimplex-háló úgynevezett *anizotrópiájának* (optimálisan megnyújtott szimplexek jelenlétének). Végso soron a hálóstruktúra elemzése segíthet a problémához legjobban illeszkedő, minimális paraméterszámú és optimális paraméterezésű inverziós modell megalkotásában. Ezen elméleti eredményeket a porózus szilíciumból készített optikai multirétegek (PSM) roncsolásmentes vizsgálatán mutattuk be [56].

Az ipari alkalmazásokban fontos a gyors rekonstrukció, amelyhez éppen ezért az adatbázisban történő közvetlen keresés helyett *neurális hálót* használtunk. Köztudott, hogy a neurális háló működése szempontjából döntő fontosságú a betanítására használt adathalmaz minősége, konzisztenciája. Sikerült igazolnunk azt a feltevést, hogy ha a betanítást az optimalizált háló-adatbázis elemeivel végezzük, jobb eredményt kapunk, mint ha a betanítás azonos számú, de véletlenszerűen kiválasztott mérési adaton alapul. A különbség leginkább a zajtűrő képességben mutatkozik meg [55, 65].

Szórt mágneses tér mérésén alapuló roncsolásmentes vizsgálatok

A ferromágneses anyagokban bekövetkező szerkezeti változásokat nagyon jól lehet jellemezni a felületük mentén elvégzett mágneses tér méréssel (szórt mágneses fluxus mérése). Kimutattuk, hogy a Fluxset szenzor nagyon alkalmas az ilyen jellegű vizsgálatok elvégzésére, és méréseket végeztünk monoton növekvő húzófeszültség hatásának kitett 3% Mn, Ni, Mo és C adalékolást tartalmazó szerkezeti acélból készült kísérleti mintákon. Jó térbeli felbontással és nagy érzékenységgel sikerült az anyagszerkezetben a terhelés hatására kialakult csúszási síkokat detektálnunk [1,22,33].

Fluxset örvényáramú módszer gyakorlati alkalmazása

A mélyen fekvő hibák detektálása során egyrészt az örvényáramú eszköz megnövelt érzékenysége, másrészt pedig nagyobb térfogat gerjesztésére van szükség. Emiatt egy új, két gerjesztő tekercset tartalmazó mérőfejet építettünk, amelynél a szenzor pozícióját számítással határoztuk meg, ahol a gerjesztő tekercsek által keltett mágneses térnek minimuma van. Ilyen mérőfej segítségével 20 mm vastagságú acél lemezben is ki tudtunk mutatni 5 mm mély, hátoldali repedéseket [11,12,20].

Az általunk korábban bevezetett Fluxset típusú örvényáramú mérési módszer alkalmazható a hegesztési varratok vizsgálatára is. Alumíniumból készült lemezen vizsgáltuk a hegesztési varratot, és ezzel a módszerrel sikerült kimutatni a hegesztési varrat alatt elhelyezkedő levegő zárványok jelenlétét, amit egyébként csak radiográfiai módszerrel lehet kimutatni [14].

A méréstechnikát egy új területen, a vezető anyagokat borító szigetelő rétegek vastagságának mérésére is alkalmaztuk. Kimutattuk, hogy amennyiben az örvényáramú gerjesztő tekercsben elhelyezkedő mágneses térmérő szenzort úgy pozicionáljuk, hogy nem a gerjesztő tekercs közepén helyezkedik el (ellentétben a szokásos örvényáramú méréstechnikával), akkor egy olyan eszközt nyerünk, amely segítségével igen nagy pontossággal, és széles mérési tartományban lehet a mérőfej és az alatta elhelyezkedő vezető anyag távolságát mérni. Számítások segítségével optimalizáltuk a szenzor legkedvezőbb pozícióját, és méréseket végeztünk, különböző anyagból készült vezetők esetén. Azt az eredményt kaptuk, hogy 20 mm vastag elektromosan szigetelő réteg vastagságát is 10^{-4} pontossággal, 83 dB jel/zaj viszonyal meg tudjuk mérni. Az 5 mm alatti mérési tartományban 0.12 % mérési pontosság érhető el. Ezek az adatok, mind mérési pontosságban, mind pedig a méréstartományban messze felülmúlják a

hasznos célra gyártott, jelenleg kereskedelmi forgalomban lévő eszközök lehetőségeit. További előnye az általunk kidolgozott módszernek, hogy a mérőfej dőlési hibáját (ami például a nem tökéletesen síma mérendő felületből adódhat) is figyelembe lehet venni, megfelelő szoftveres kiértékelés segítségével [19,34].

Megterveztünk és megépítettünk egy olyan mérőfejet, amely csövek vizsgálatára alkalmas. Segítségével Inconel 600-as anyagból készült csövek hibáit vizsgáltuk [2]. Igen jó jel/zaj viszonytal sikerült kimutatnunk mind a hosszanti, mind pedig a keresztben fekvő irányú, 10% mélységű, hátoldali repedéseket 1.25 mm falvastagságú csőben. A mérések során az eszköz egy további értékes tulajdonságára is fény derült, nevezetesen, hogy segítségével egyidejűleg mérhető az örvényáramú jel, valamint a szórt mágneses tér. Így lehetőség nyílik például a rozsdamentes anyagokban az anyagkifáradás következtében kialakuló ferromágneses fázis kimutatására is, a folytonossági hiányt okozó hibák detektálásával egyidejűleg.

Kimutattuk, hogy az általunk konstruált mérőfej segítségével jó jel/zaj viszonytal lehet detektálni a fémek anyagokba lézerrel beírt vonalkódot [58]. Ez az eljárás lehetővé teszi nagy értékű eszközök, részegységek időtálló jelölését, és élettartama során való nyomon követését.

Mágneses alhurkok mérésén alapuló roncsolásmentes vizsgálati módszer fejlesztése

Mágneses hiszterézis mérésen alapuló, roncsolásmentes anyagvizsgálati módszert fejlesztettünk ki, amely alkalmas a ferromágneses anyagokban végmenő szerkezeti változások nyomonkövetésére. Mérőberendezést építettünk és kidolgoztuk a mérési eredmények kiértékelésére szolgáló szoftvert. Mérőfejet fejlesztettünk, amely alkalmas nagyméretű ferromágneses minták (pl. lemezek) roncsolásmentes mérésére ezzel a módszerrel. A mérési eljárás során hiszterézis alhurkok sorozatát mérjük a mérendő mintára helyezett mágnesező áram segítségével. A mért adatok megfelelő kiértékelése segítségével a hiszterézis alhurkokból számos paraméter származtatható, amelyek alkalmasak a mért minták összehasonlító jellemzésére, anélkül, hogy az anyagot mágnesesen telítésbe vinnénk.

A módszer gyakorlati alkalmazása céljából 18/8 típusú, titánnal stabilizált, lemez formátumú ausztenites acél mintákat vizsgáltunk ezzel az eljárással [60,62]. Hideghengerléssel különböző mértékben alakítottuk az ilyen módon előkészített mintákat, melynek során a ferrit tartalom változott, a hengerlés mértékének függvényében. Vizsgáltunk öntöttvas minta sorozatokat is, ahol a ferrit/perlit arány változott a minta előállítása során alkalmazott technológia függvényében [37,63]. Az elvégzett mérések fő célja annak vizsgálata volt, hogy a mágneses alhurkok alapján származtatott paraméterek segítségével milyen érzékenységgel tudjuk nyomon követni a mintaelőállítás során bekövetkező anyagszerkezeti változásokat. Azt találtuk, hogy bizonyos mágneses jellemzők változása sokkal nagyobb érzékenységgel mutatható ki az alhurkok mérése, és az adathalmaz megfelelő kiértékelése alapján, mintha ezt a teljes hiszterézis görbe mérése alapján tennénk. Tehát sikerült bizonyítani, hogy az általunk fejlesztett módszer valóban előnyösen alkalmazható az anyagok szerkezeti állapotának nagy pontosságú, összehasonlító jellemzésére. Ezáltal hatékony, roncsolásmentes, gyors és megbízható vizsgálati eljárás vezethető be a ferromágneses szerkezeti anyagok degradációjának kimutatására.